

(напряженностей) являются только две, свидетельствующие о поперечном характере плоской электромагнитной волны. На квантовом языке это означает, что одночастичные состояния электромагнитного поля обладают двумя степенями свободы, которым соответствуют значения спиральности $S = \pm 1$.

Данный подход нетрудно распространить и на другие безмассовые поля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамм, И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Наука, 1989. – 504 с.
2. Левич, В. Г. Курс теоретической физики. Т. 1 / В. Г. Левич. – М. : Наука, 1969. – 912 с.

УДК 539.12

Д. В. СИНЕГРИБОВ, В. Р. КУРИЛЕНКО

Гомель, ГГУ имени Ф. Скорины

Научный руководитель – В. В. Андреев, д-р физ.-мат. наук, профессор

МОДЕЛЬНЫЙ И МОДЕЛЬНО НЕЗАВИСИМЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТОВ ТЯЖЕЛЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ НА ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Международный линейный коллайдер (англ. International Linear Collider (ILC)) и компактный линейный коллайдер (англ. Compact Linear Collider (CLIC)) – это два будущих электрон-позитронных коллайдера, которые предназначены для исследования элементарных частиц на высоких энергиях с большой точностью.

ILC и CLIC активно обсуждаются как важный компонент будущих экспериментов в физике высоких энергий. Интригующим вопросом современной физики элементарных частиц является наличие новых частиц за пределами Стандартной модели (СМ). Точные измерения на ILC и CLIC позволят оценить различные характеристики новых тяжелых частиц. Энергия столкновений $\sqrt{S_{ILC}} = 0,5, 1$ ТэВ и $\sqrt{S_{CLIC}} = 3$ ТэВ.

Информация о массе и константах связи Z' -бозонов была бы весьма существенной для проверки новых теорий. Наиболее перспективным для этих целей является аннигиляционный канал с рождением пары фермионов:



Косвенное проявление Z' -бозона состояло бы в обнаружении отклонений физических наблюдаемых величин от поведения, предсказываемого СМ. При этом важным является не только определение масштаба эффекта, но также его знак (отклонения) и энергетическая зависимость.

Работа посвящена разработке метода обнаружения интерференционных эффектов новых нейтральных промежуточных бозонов в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару с помощью асимметрии вперед-назад A_{FB} на будущих электрон-позитронных коллайдерах CLIC и ILC.

Сечение и асимметрия вперед-назад. В приближении Борна, дифференциальное сечение реакции (1) для продольно поляризованных начальных пучков:

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} = N_C \frac{\pi\alpha_{e.m.}^2}{2S} [(1 + \cos^2\theta)F_1 + 2\cos\theta F_2],$$

где θ – угол рассеяния между направлением движения начального электрона и вылетающего фермиона f , N_C – цветовой фактор (3 или 1 для конечных кварков или лептонов соответственно), $\alpha_{e.m.} = \frac{1}{129}$ – константа электромагнитного взаимодействия.

Функции $F_{1,2}$ могут быть выражены в терминах амплитуд спиральности как:

$$F_{1,2} = \frac{1}{4} [(1 + P_e)(1 - P_{\bar{e}})(|A_{RR}|^2 \pm |A_{RL}|^2) + (1 - P_e)(1 + P_{\bar{e}})(|A_{LL}|^2 \pm |A_{LR}|^2)],$$

где P_e и $P_{\bar{e}}$ – степени продольной электронной и позитронной поляризаций. Амплитуды спиральности $A_{\alpha\beta}$ ($\alpha, \beta = L, R$) могут быть представлены в виде диаграмм Фейнмана, изображенных на рисунке 1.

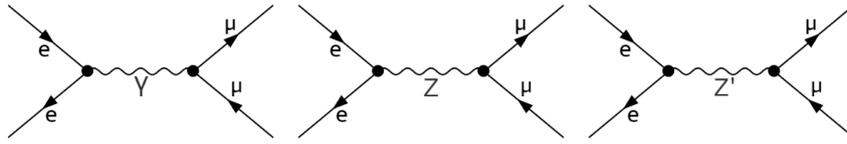


Рисунок 1 – Диаграммы Фейнмана для процесса (1)

Полное сечение рассеяния $\sigma_{\mu\mu}$:

$$\begin{aligned} \sigma &= \int_{-1}^1 \frac{d\sigma_{\mu\mu}}{d\cos\theta} d\cos\theta = N_C \sigma_{pt} F_1 \\ &= \frac{1}{4} [(1 + P_e)(1 - P_{\bar{e}})(\sigma_{RR} + \sigma_{RL}) + (1 - P_e)(1 + P_{\bar{e}})(\sigma_{LL} + \sigma_{LR})]. \end{aligned}$$

Асимметрия вперед-назад, A_{FB} :

$$A_{FB} = \frac{\sigma_{FB}}{\sigma} = \frac{3F_2}{4F_1}.$$

Для количественного представления интерференционной картины (рисунок 2) рассмотрим три случая, отличающиеся друг от друга разным выбором фермионных констант связи v'_f и a'_f , но с одной и той же массой $M_{Z'}$:

- 1) векторный Z'_V -бозон ($v'_f = 1, a'_f = 0$);
- 2) аксиально-векторный Z'_A -бозон ($v'_f = 0, a'_f = 1$);
- 3) Z'_{AV} -бозон ($v'_f = 1, a'_f = 1$).

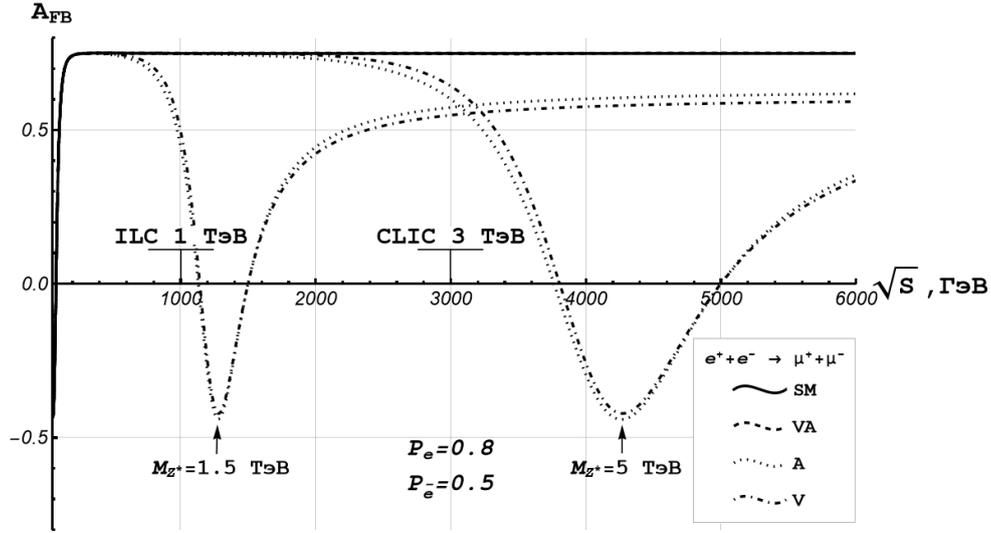


Рисунок 2 – Энергетическая зависимость асимметрии для Стандартной модели и для модели, предсказывающей существование Z' -бозона с продольно поляризованными начальными пучками и массой $M_{Z'} = 1,5$ и 5 ТэВ

Модельно-независимые ограничения. Если не удастся обнаружить отклонений от предсказаний СМ на уровне достигнутой или ожидаемой экспериментальной точности, то в этом случае можно оценить чувствительность наблюдаемых к эффектам Z' -бозона и получить ограничения на параметры Z' .

Для выполнения анализа удобно использовать модельно-независимую параметризацию лептонных констант связи Z' -бозона:

$$V_f = V_{Z'}^f \sqrt{\frac{g_{Z'}^2 M_Z^2}{4\pi M_{Z'}^2 - S}}, A_f = A_{Z'}^f \sqrt{\frac{g_{Z'}^2 M_Z^2}{4\pi M_{Z'}^2 - S}}.$$

Чувствительность наблюдаемых σ можно оценить с помощью функции χ^2 с двумя степенями свободы, определяемой соотношением:

$$\chi^2 = \left(\frac{\Delta\sigma}{\delta\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A_{FB}}{\delta A_{FB}}\right)^2.$$

Экспериментальная погрешность $\delta\sigma$ учитывает как статистическую, так и систематическую ошибку. Критерием для ограничений модельно-независимых лептонных констант связи v_i^f и a_i^f служит условие, согласно которому $\chi^2 < \chi_{\text{крит}}^2$. Величина $\chi_{\text{крит}}^2$ определяется требуемым уровнем статистической достоверности. Уровень статистической достоверности соответствует двум стандартным отклонениям.

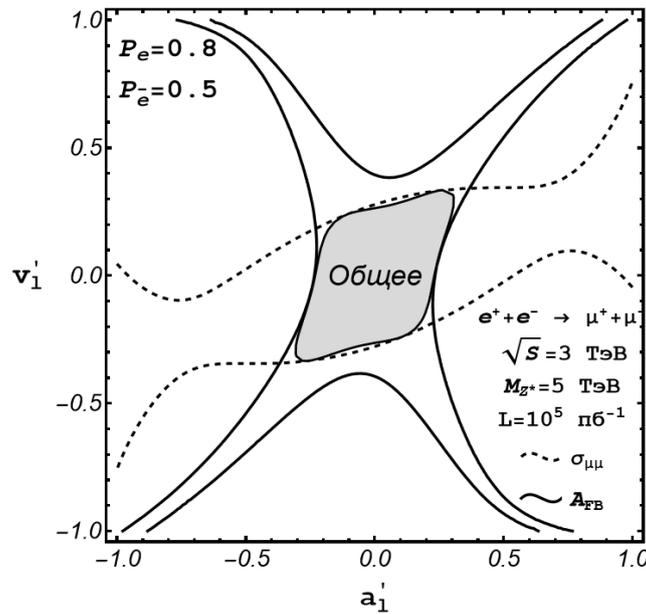


Рисунок 3 – Модельно-независимые ограничения на константы Z' -бозонов (a', v'), полученные из комбинированного анализа полного сечения и асимметрии вперед-назад при энергии $\sqrt{S_{\text{CLIC}}} = 3 \text{ ТэВ}$ и массе $M_{Z'} = 5 \text{ ТэВ}$

По полученным результатам можно заключить, что предсказать Z' можно при энергиях $\sqrt{S} < M_{Z'}$ по наличию отклонения от поведения СМ. Энергия, при которой асимметрия становится отрицательной, будет свидетельствовать о приближении к реальной массе Z' . Из сравнения результатов с и без поляризации можно заключить, что обнаружить Z' более вероятно без начальной поляризации пучков и при выборе фермионных констант связи соответствующих векторному Z'_V -бозону ($v'_f=1$, $a'_f=0$). Таким образом, исследование асимметрии является очень важной задачей для дальнейших экспериментов на будущих электрон-позитронных коллайдерах.

Получены модельно-независимые ограничения на константы Z' -бозона для процесса (1) (рисунок 3).

УДК 620.17:669.76

Д. В. ЧЕСТНЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

Научный руководитель – А. В. Демидчик, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ СПЛАВА $\text{Bi}_{0,89}\text{Sb}_{0,11}$ ГЕРМАНИЕМ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Целью данного исследования является изучение влияния легирования на удельное сопротивление фольги из сплава $\text{Bi}_{0,89}\text{Sb}_{0,11}$. В качестве третьего компонента был выбран германий, элемент IV группы. Висмут и сурьма являются элементами V группы. Основой состава был выбран $\text{Bi}_{0,89}\text{Sb}_{0,11}$, поскольку такой состав обладает макси-

мальным энергетическим зазором. Фольги были получены методом сверхбыстрой закалкой из расплава (скорость охлаждения – 10^6 K/c). Данный метод позволяет получить фольги с однородным распределением состава, что приводит к улучшению термоэлектрических свойств. Термообработка фольги сохраняет равномерность распределения компонентов, но увеличивает размер частиц и изменяет различные свойства, в том числе электрические.

На рисунке 1 представлена температурная зависимость для сплава с различной концентрацией германия. Из рисунка следует, что с повышением температуры удельное сопротивление уменьшается монотонно.

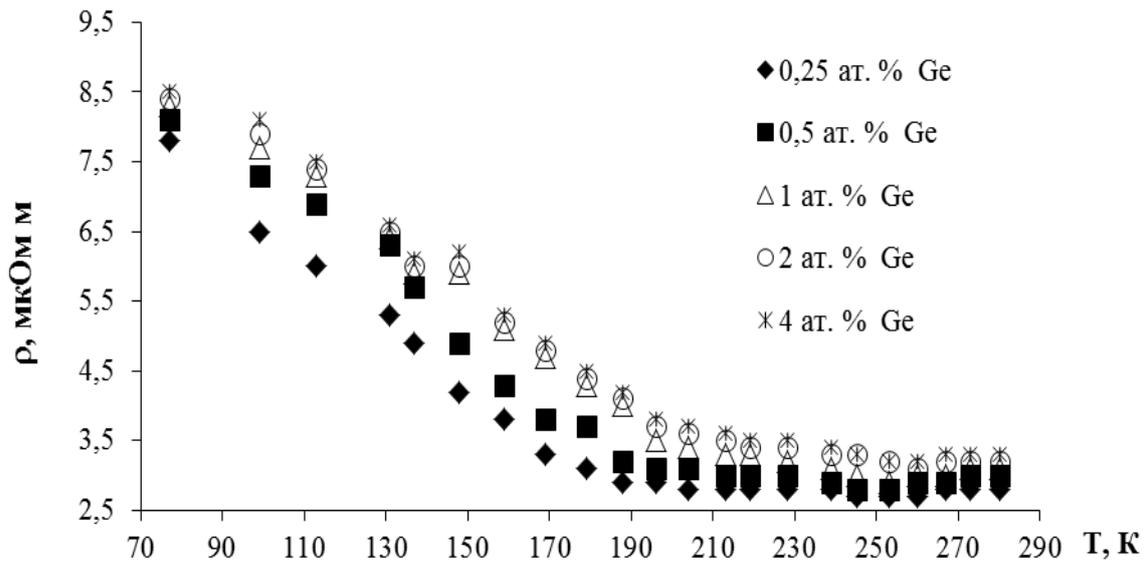


Рисунок 1 – Температурная зависимость удельного сопротивления сплава $Vi_{0.89}Sb_{0.11}$ с различной концентрацией германия

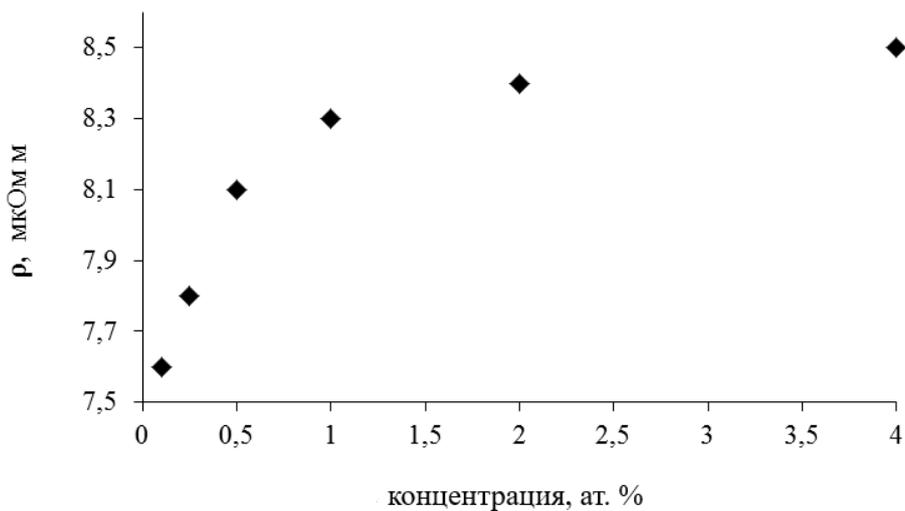


Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления от концентрации германия при 77 К

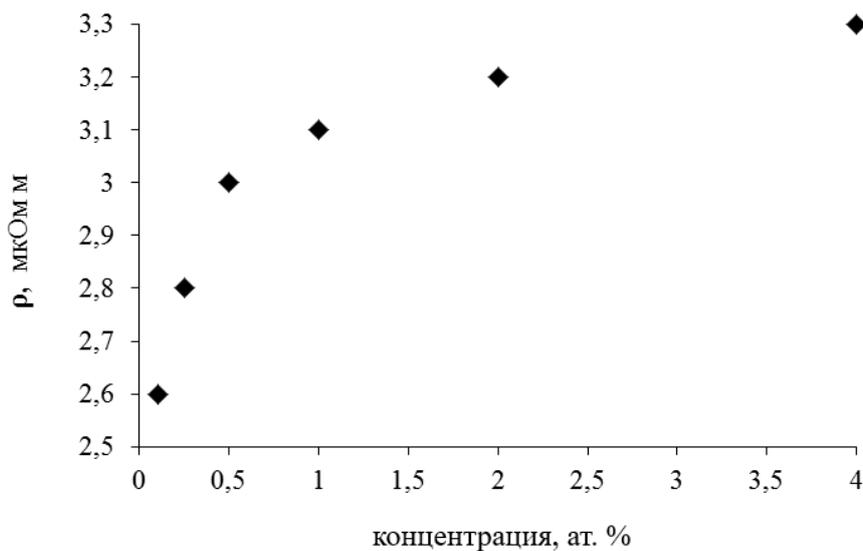


Рисунок 3 – Зависимость удельного сопротивления от концентрации германия при комнатной температуре

Легирование третьим компонентом увеличивает удельное сопротивление. При температуре 77 К его значение превосходит величину удельного сопротивления $\text{Bi}_{0.89}\text{Sb}_{0.11}$. При малых концентрациях германия в сплавах происходит увеличение сопротивления, интерполируя данные графика, увидим, что концентрации свыше 4 ат. % практически не изменяют удельное сопротивление (рисунки 2 и 3). При рассмотрении температур, близких к комнатной, можно заметить небольшие различия в значениях удельного сопротивления. Основным механизмом рассеяния в этом температурном диапазоне является рассеяние на акустических колебаниях решетки.